AUS DEM HALLERIANUM BERN
UND DER HOCHALPINEN FORSCHUNGSSTATION JUNGFRAUJOCH
DIREKTOR: Prof. Dr. A. VON MURALT

DIE BLUTMILCHSÄURE BEI RUHE UND ARBEIT IN VERSCHIEDENEN HÖHEN

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER WÜRDE EINES DOCTOR MEDICINAE
DER UNIVERSITÄT BERN

VORGELEGT VON

HANSJÜRG BLUNTSCHLI
AUS ZÜRICH

Buchdruckerei Vogt-Schild A.-G., Solothurn
1942

AUS DEM HALLERIANUM BERN
UND DER HOCHALPINEN FORSCHUNGSSTATION JUNGFRAUJOCH
DIREKTOR: Prof. Dr. A. VON MURALT

DIE BLUTMILCHSÄURE BEI RUHE UND ARBEIT IN VERSCHIEDENEN HÖHEN

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER WÜRDE EINES DOCTOR MEDICINAE
DER UNIVERSITÄT BERN

VORGELEGT VON

HANSJÜRG BLUNTSCHLI
AUS ZÜRICH

Buchdruckerei Vogt-Schild A.-G., Solothurn
1942

Auf Antrag des Herrn Prof. Dr. A. von Muralt von der medizinischen Fakultät zum Druck als Dissertation genehmigt.

Bern, den 15. Juli 1942.

Der Dekan der medizinischen Fakultät:
Prof. Dr. A. von Muralt.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Inhaltsverzeichnis

Seite

Die Aufgabe 5

Versuchsmethodik 5

Ausführung 7

Blindwert der Apparatur 7

Genauigkeit der Methode 7

Erfahrungen 8

Versuchsbedingungen 8

1. Das Verhalten der Blutmilchsäure bei Ruhe in verschiedenen Höhen 8

2. Das Verhalten der Ruhe-Blutmilchsäurewerte bei längerem Höhenaufenthalt 9

3. Das Verhalten der Blutmilchsäure bei Arbeit 9

Versuchsergebnisse 10

1. Verhalten der Blutmilchsäure bei Ruhe in verschiedenen Höhen . . 10

2. Verhalten der Ruhe-Blutmilchsäurewerte bei längerem Höhenaufenthalt 11

3. Verhalten der Blutmilchsäure bei Arbeit in verschiedenen Höhen . 11

a) Standing-running-Versuche in Bern 12

b) Standing-running auf Jungfraujoch am 1. Aufenthaltstag . . 13

c) » » » » 2. » . . 13

d) » » » » 3. » . . 13

e) » » » » 5. » . . 14

f) » » » » 12. u. 13. » . . 15

g) Abweichende Versuche 15

Doppelter Standing-running-Versuch auf Jungfraujoch . . . 16

h) Standing-running-Versuche auf dem Mönch 17

i) Achtungsstellungsversuche auf Jungfraujoch 19

4. Tourenversuche 19

5. Der Bikarbonateffekt 22

Besprechung der Versuchsergebnisse 24

Die Blutmilchsäure bei Ruhe 24

Blutmilchsäure und Arbeit 26

Tourenversuche 29

Der Bikarbonateffekt 29

Zusammenfassung 31

Literaturverzeichnis 33

Die Aufgabe

In den Jahren 1938 und 1939 wurde, gemeinsam mit Ulrich von Rütte, folgende *Grundfragestellung* untersucht: Wie verändern sich Blutmilchsäure und Alkalireserve beim Menschen unter verschiedenen Bedingungen in verschiedenen Höhenlagen?

An den gleichen Versuchspersonen beschäftigte sich von Rütte mit der Frage der Alkalireserve und meine Aufgabe war die Untersuchung des Blutmilchsäurespiegels. Die gefundenen Alkalireservewerte werden in der Regel bei den Versuchsergebnissen erwähnt, nicht aber näher diskutiert. Näheren Aufschluss wird die betreffende Arbeit von Ulrich von Rütte geben [1].

Im gesamten wurden 179 Blutmilchsäurebestimmungen an 17 verschiedenen Versuchspersonen durchgeführt. Die Untersuchungen erstrecken sich auf den Zeitraum vom Oktober 1938 bis März 1939. Die Versuche wurden in folgende *Fragestellungen* gegliedert:

1. Verhalten der Ruhewerte in verschiedenen Höhen?
2. Wie verändert sich der Blutmilchsäurespiegel nach Arbeitsleistungen in verschiedenen Höhen?
3. Blutmilchsäurespiegel nach Bikarbonatgabe in verschiedenen Höhelagen?

Die *Versuche* wurden ausgeführt:

in Bern	545 m ü. M.
auf dem Jungfraujoch . . .	3457 m ü. M.
auf dem Gipfel des Mönch .	4105 m ü. M.

Die Milchsäurewerte sind in Milligramm pro 100 cm^3 Blut als Milligrammprozent angegeben, die Alkalireservewerte in Kubikzentimetern CO_2 pro 100 cm^3 Blut als Volumenprozent.

Sämtliche Bestimmungen erfolgten in den ersten zwölf der Blutentnahme folgenden Stunden.

Versuchsmethodik.

Blutentnahme. Aus der kurz gestauten Armvene werden 8 cm^3 Blut entnommen. Davon wird sofort 1 cm^3 mit 45 cm^3 Aqua redest.

Apparatur.

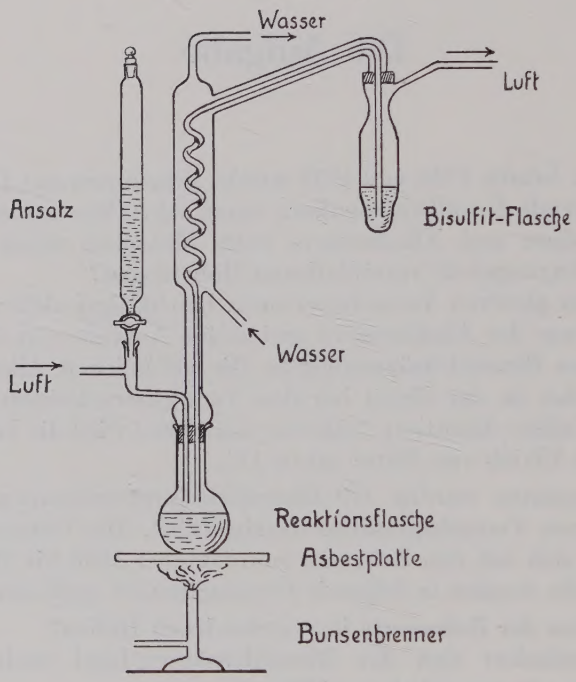

Fig. 1

vermischt. (Die restlichen 7 cm³ werden zur Bestimmung der Alkalireserve verwendet.) Die Enteiweissung erfolgt mit 2 cm³ $^2/_3$ *n* Schwefelsäure und 2 cm³ 10prozentiger Natriumwolframatlösung. Nach kräftigem Umrühren 10 Minuten langes Zentrifugieren in einer Winkelzentrifuge (3200 Umdrehungen) nach Edwards [2].

Die *Milchsäurebestimmung* geschieht nach der modifizierten Methode von Fürth-Charnass [3] nach der im Berner Hallerianum üblichen Technik unter teilweiser Berücksichtigung der neuen vereinfachten Methode nach H. T. Edwards [2], die erst 1938 zur Veröffentlichung gelangte.

Das *Prinzip der Methode* beruht auf der Oxydation der mit kochender Schwefelsäure vermischten Milchsäure durch Permanganat in Azetaldehyd. Das Azetaldehyd wird in eine Natriumbisulfitlösung

übergeführt, dort gebunden und quantitativ durch Titration bestimmt. Aus der Menge Azetaldehyd lässt sich die unbekannte Milchsäuremenge berechnen.

Ausführung.

40 cm³ Filtrat des Zentrifugates werden in der *Reaktionsflasche* mit 5 cm³ 10 *n* Schwefelsäure, 10 cm³ 10prozentigem Mangansulfat und mit 50 cm³ Aqua redest. versetzt. In die *Bisulfitflasche* werden 5 cm³ 1prozentiges Natriumbisulfit eingebracht. Nach Inbetriebstellen der Saugpumpe (Frischluft) lässt man die Apparatur mit Kühlwasser durchströmen und erhitzt die Reaktionsflasche so, dass der Inhalt ständig leicht kocht. Sobald der letztere eine braune Farbe annimmt, lässt man aus dem Ansatz pro Minute 40 Tropfen einer 0,002 *n* Kaliumpermanganatlösung in die Reaktionsflasche eintropfen. Nach 15 Minuten werden die Flamme und die Saugpumpe abgestellt. Anschliessend erfolgt die Titration des Inhaltes der Bisulfitflasche mit einer 0,005 *n* Jodlösung. Zunächst wird das überschüssige Bisulfit durch Titration mit Jod beseitigt und dann diejenige Jodmenge bestimmt, die notwendig ist, um das bei der Spaltung der Azetaldehyd-Bisulfitverbindung (durch Zusatz von Natriumbikarbonat) in Freiheit gesetzte Bisulfit zu oxydieren. Als Farbindikator wurde Arrowroot-starch verwendet. 1 cm³ der 0,005 *n* Jodlösung entsprechen 0,225 mg Milchsäure.

Nach Berücksichtigung des Blindwertes der Apparatur sowie der verschiedenen Verdünnungen lässt sich die Milchsäure des Blutes bestimmen. Die Kontrolle der Apparatur erfolgt mit einer Lithiumlactat-Standard-Lösung.

Blindwert der Apparatur.

Tabelle 1.

Datum	mg Milchsäure
1938: 11. 12.	0,04
1939: 19. 2.	0,06
15. 3.	0,04
15. 3.	0,06
15. 3.	0,06
19. 3.	0,06

Genauigkeit der Methode.

Ergebnis der Lithiumlactatkontrolle soll sein: 0,18 mg Milchsäure. — Ergebnisse:

11. 12. 1938 . . .	0,172 mg	Milchsäure
16. 3. 1939 . . .	0,182 mg	»
17. 3. 1939 . . .	0,189 mg	»

Erfahrungen.

Die Luft für die Saugpumpe wurde jeweils mit einem Gummischlauch durch ein Loch im Fensterrahmen eingesogen. Laboratoriumsluft beeinflusste den Blindwert. Für sämtliche Bestimmungen wurde Aqua redest. gebraucht.

Versuchsbedingungen.

Ernährung der Versuchspersonen. Campbell und Maltby [4], Koehler, Behnemann, Benell und Loevenhart [5] beschrieben, dass im Tierversuch die Verfütterung von Kohlehydraten eine Milchsäurezunahme im Blut verursachen kann. Der Grad der Zunahme soll von der Natur des Zuckers abhängen. Nach Glukose und Maltose wurde eine geringe, nach Fruktose eine starke Zunahme des Milchsäurewertes beobachtet.

Unsere Versuchspersonen wurden, wenn die Untersuchungen längere Zeit dauerten und so die Blutentnahme nicht in nüchternem Zustand erfolgen konnten, mit einer kohlehydratarmen Einheitskost ernährt.

Einheitsfrühstück: 1 Tasse Kaffee (ohne Milch, ohne Zucker)
2 Butterbrote.

Einheitsmittagessen: Einheitssuppe
Gemüse
Fruchtsaft.

1. Das Verhalten der Blutmilchsäure bei Ruhe in verschiedenen Höhen

wurde bei acht Versuchspersonen in Bern (545 m) und auf dem Jungfraujoch (3457 m) unter gleichen Versuchsbedingungen untersucht. Die Blutentnahme erfolgte jeweils am gleichen Tag und stets nach 20 Minuten Ruhe, nämlich des Morgens um 5.30 Uhr im Institut in Bern und mittags 12.30 Uhr auf Jungfraujoch. Dazwischen nur Einheitsfrühstück. Die Versuchspersonen wurden angewiesen, sich während der Reise möglichst ruhig zu verhalten. Der Grad der «Ruhe» bei Ankunft auf Jungfraujoch ist aus folgenden Tatsachen zu ersehen: Die Versuchspersonen begaben sich nach ihrer Ankunft im Bahnhof Jungfraujoch langsam, ohne Gepäck, in das etwa drei Minuten entfernte Forschungsinstitut. Dort erreichten sie mit einem Aufzug einen Schlafraum. Nach 20 Minuten absoluter Ruhe gewannen wir den *Wert I Jungfraujoch.* Die Bestimmung beider Werte erfolgte mit der gleichen Apparatur auf Jungfraujoch. Jede Versuchsperson brachte das Blut, welches nur hämolysiert war, in einem Zentrifugenglas mit sich auf Jungfraujoch.

2. Das Verhalten der Ruhe-Blutmilchsäurewerte bei längerem Höhenaufenthalt.

Bei einzelnen Versuchspersonen wurde der Milchsäurespiegel während 17 Tagen beobachtet. Bei diesen Jungfraujoch-Ruhewerten erfolgte die Blutentnahme morgens nüchtern im Bett nach dem Erwachen.

3. Das Verhalten der Blutmilchsäure bei Arbeit.

Es ist das Ziel dieser Versuchsgruppe, den Blutmilchsäurespiegel bei einer gleichbleibenden Arbeit in verschiedenen Höhen zu beobachten. Die gleichbleibende Arbeit ist für uns der «*Standing-Running-Standard*». Wir verstehen darunter folgendes: Die Versuchsperson ist nüchtern oder höchstens mit der oben erwähnten Einheitskost versorgt. Morgens im Bett oder nach mindestens 20 Minuten absoluter Ruhe erfolgt die erste Blutentnahme, die zur Gewinnung des *Ruhewertes I* dient. Daran schliesst sich das Standing-running an, ein Laufschritt in Turnschuhen, bei dem die Knie hoch und möglichst bis an die Brust angezogen werden. Die Schrittzahl wird durch ein Metronom kontrolliert und soll 105 Schritte in der Minute betragen. Das Standing-running wurde in der Regel 60 Sekunden lang ausgeführt. In einzelnen Versuchen, z. B. auf dem Mönch, trat jedoch schon nach 50 Sekunden Erschöpfung ein. Nach der Uebung folgen drei Minuten absolute Ruhe und darauf die Blutentnahme, die den *Wert II* ergibt. Nach weiteren 15 Minuten Ruhe (also im ganzen 18 Minuten Ruhe nach der Uebung) findet die nächste Blutentnahme statt. Sie ergibt den *Wert III*. Nach jeder Blutentnahme war die Blutmilchsäure und die Alkalireserve zu bestimmen.

Die Standing-running-Versuche wurden in verschiedenen Höhen ausgeführt, d. h. in Bern (545 m), auf Jungfraujoch (3457 m) und auf dem Mönchsgipfel (4105 m).

Versuchsergebnisse

1. Verhalten der Blutmilchsäure bei Ruhe in verschiedenen Höhen.

(Versuchsbedingungen siehe Methodik.)

Tabelle 2.

Versuchs-Person		Wert Bern	Wert Jungfraujoch	% Milchsäure-zunahme
KF.	Milchsäure	10,9	25,5	134 %
	Alkalireserve . . .	64,6	58,1	—
FF.	Milchsäure	12,8	26,1	104 %
	Alkalireserve . . .	57,2	59,5	—
BB.	Milchsäure	7,2	20,0	177 %
	Alkalireserve . . .	64,3	55,7	—
SS.	Milchsäure	4,7	12,8	172 %
	Alkalireserve . . .	57,6	60,9	—
BS.	Milchsäure	11,0	16,5	50 %
	Alkalireserve . . .	62,5	67,6	—
PB.	Milchsäure	9,8	12,8	30 %
	Alkalireserve . . .	59,3	63,4	—
GF.	Milchsäure	7,3	21,6	195 %
	Alkalireserve . . .	65,8	67,6	—
HB.	Milchsäure	22,5	60,7	170 %
	Alkalireserve . . .	61,7	53,9	—

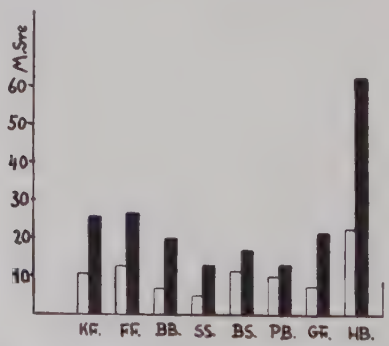

Fig. 2. Vergleich der Blutmilchsäureruhewerte. Bern: weiss, Jungfraujoch: schwarz. Beide Werte für die einzelne Versuchsperson am gleichen Tag.

2. Verhalten der Ruhe-Blutmilchsäurewerte bei längerem Höhenaufenthalt.

(Versuchsbedingungen siehe Methodik.)

Der besseren Darstellung wegen wird auch der Tieflandwert (Wert Bern) in die Tabelle eingetragen. Für die Versuchspersonen Bl. und v. R. wurde der *Wert Bern* nicht am gleichen Tag wie der *Wert I* auf Jungfraujoch gewonnen.

Tabelle 3.

Versuchs-Person		Wert Bern	Tage auf Jungfraujoch 1.	2.	3.	4.	5.	2.	13.	17.
Bl.	Milchsäure	8,2	6,5	32,8	—	—	20,0	6,7	—	6,7
	Alkalireserve	63,5	69,2	66,4	—	—	64,8	65,8	—	63,9
v. R	Milchsäure	7,2	—	15,7	15,7	—	21,6	—	7,7	11,8
	Alkalireserve	71,3	—	71,6	64,5	—	66,0	—	61,5	63,1
Be.*)	Milchsäure	22,5	49,8	25,5	18,0	—	38,5	—	—	—
	Alkalireserve	61,7	55,9	64,5	68,0	—	67,6	—	—	—
Cav.*)	Milchsäure	—	74,25	10,9	20,7	—	13,7	—	—	—
	Alkalireserve	—	63,5	68,1	70,9	—	69,0	—	—	—
Fe.	Milchsäure	10,9	25,5	16,2	—	30,0	—	—	—	—
	Alkalisäure	64,6	58,1	53,1	—	60,7	—	—	—	—
Fi.	Milchsäure	12,8	26,1	36,0	—	—	—	—	—	—
	Alikalireserve	57,2	59,5	57,9	—	—	—	—	—	—
Be.	Milchsäure	7,2	20,0	39,9	25,0	—	—	—	—	—
	Alkalireserve	64,3	55,7	70,4	47,9	—	—	—	—	—
WS.	Milchsäure	—	16,5	17,3	23,8	32,0	—	—	—	—
	Alkalireserve	—	65,0	50,4	65,3	67,1	—	—	—	—
SS.	Milchsäure	4,7	12,8	20,7	45,4	14,0	—	—	—	—
	Alikalireserve	57,6	60,9	59,5	55,0	60,8	—	—	—	—
Frau St.	Milchsäure	11,0	16,5	20,5	32,1	—	—	—	—	—
	Alkalireserve	62,5	67,9	61,1	47,1	—	—	—	—	—
Mittelwerte:	*Milchsäure*	10,5	23,2	23,5	23,6	25,3	23,4	6,7	7,7	9,2
Mittelwerte:	*Alkalireserve*	62,9	61,7	62,3	59,8	62,9	66,8	65,8	61,5	63,1

*) Versuchsperson hatte deutliche Erscheinungen von Bergkrankheit.

3. Verhalten der Blutmilchsäure bei Arbeit in verschiedenen Höhen.

(Versuchsbedingungen siehe Methodik.)

Das Prinzip des Standing-running-Standards sei hier nochmals kurz wiederholt. Vor der Uebung gewinnen wir den *Wert I* (Ruhewert). Anschliessend 60 Sekunden Standing-running in bestimmtem Tempo. Drei Minuten nach der Anstrengung gewinnen wir *Wert II* und in der 18. Minuten der Erholungsphase den *Wert III.*

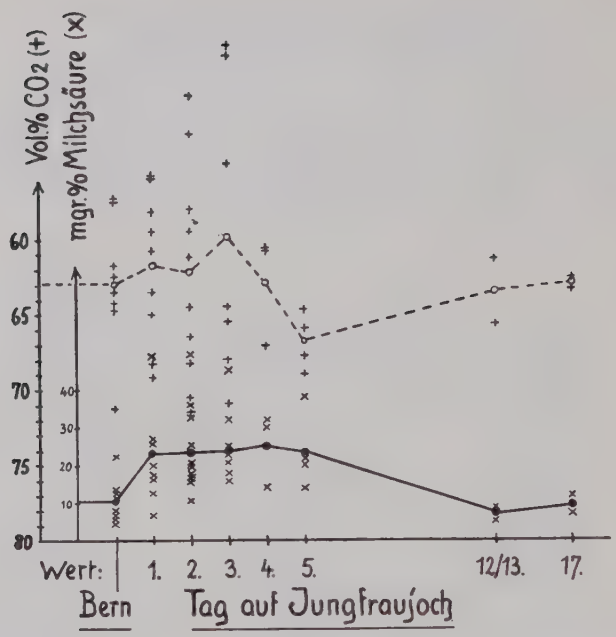

Fig. 3. Blutmilchsäure und Alkalireserve bei längerem Höhenaufenthalt.

+ = Alkalireservewerte
x = Blutmilchsäurewerte
o = Alkalireservemittelwerte
● = Blutmilchsäuremittelwerte

a) Standing-running-Versuche in Bern (545 m ü. M.).

Tabelle 4.

Datum 1939	Versuchs-Person		Wert I	Wert II	Wert III
25. 1.	v. R.	Milchsäure	8,0	61,0	53,0
		Alkalireserve	72,0	59,7	67,8
15. 2.	v. R.	Milchsäure	8,3	40,5	32,0
		Alkalireserve	75,0	62,9	69,2
19. 2.	v. R.	Milchsäure	6,1	42,3	39,0
		Alkalireserve	67,3	47,7	59,1
19. 1.	Bl.	Milchsäure	7,0	48,8	40,0
		Alkalireserve	—	—	—
Mittelwerte		Milchsäure	7,3	48,1	40,0
		Alkalireserve	71,4	63,4	65,3
Milchsäure			% Zunahme 558 % zwischen Wert I u. II		% Abnahme 17 % zwischen Wert II u. III

b) Standing-running auf Jungfraujoch (3457 m ü. M.) *am 1. Aufenthaltstag.*

Tabelle 5.

Datum 1939	Versuchs-Person		Wert I	Wert II	Wert III
13. 3.	v. R.	Milchsäure	—	74,0	26,6
		Alkalireserve	—	64,5	68,3
13. 3.	Bl.	Milchsäure	6,5	—	25,3
		Alkalireserve	69,2	59,4	67,0
16. 3.	Pf.	Milchsäure	13,3	60,1	45,1
		Alkalireserve	68,5	54,3	63,6
16. 3.	Lü.	Milchsäure	13,7	50,0	25,2
		Alkalireserve	70,3	59,2	63,3
Mittelwerte		Milchsäure	11,2	61,4	30,5
		Alkalireserve	69,3	59,3	65,5
Milchsäure			% Zunahme 448 % zwischen Wert I u. II		% Abnahme 51 % zwischen Wert II u. III

c) Standing-running auf Jungfraujoch am 2. Aufenthaltstag.

Tabelle 6.

Datum 1939	Versuchs-Person		Wert I	Wert II	Wert III
14. 3.	v. R.	Milchsäure	15,7	52,8	43,2
		Alkalireserve	71,6	60,4	66,4
14. 3.	Bl.	Milchsäure	32,8	49,7	29,2
		Alkalireserve	66,4	55,8	62,9
18. 3.	Be.*)	Milchsäure	25,5	123,6	68,6
		Alkalireserve	64,5	49,6	61,3
18. 3.	C.	Milchsäure	10,9	96,1	64,5
		Alkalireserve	68,1	42,4	58,5
Mittelwerte		Milchsäure	21,2	79,8	51,4
		Alkalireserve	67,4	52,0	63,0
Milchsäure			% Zunahme 177 % zwischen Wert I u. II		% Abnahme 36 % zwischen Wert II u. III

d) Standing-running auf Jungfraujoch am 3. Aufenthaltstag.

Tabelle 7.

Datum 1939	Versuchs-Person		Wert I	Wert II	Wert III
15. 3.	v. R.	Milchsäure	15,7	47,7	29,2
		Alkalireserve	64,5	53,3	62,9
19. 3.	Be.	Milchsäure	18,0	36,2	38,7
		Alkalireserve	68,0	57,3	55,2
Mittelwerte		Milchsäure	16,8	41,9	34,0
		Alkalireserve	66,2	55,3	59,0
Milchsäure			% Zunahme 149 % zwischen Wert I u. II		% Abnahme 19 % zwischen Wert II u. III

*) Deutliche Erscheinungen von Bergkrankheit

e) Standing-running auf Jungfraujoch am 5. Aufenthaltstag.

Tabelle 8.

Datum 1939	Versuchs-Person		Wert I	Wert II	Wert III
17. 3.	v. R.	Milchsäure	21,6	48,8	24,1
		Alkalireserve	66,0	58,1	63,7
17. 3.	Bl.	Milchsäure	20,0	36,0	23,1
		Alkalireserve	64,8	54,7	59,5
21. 3.	C.	Milchsäure	13,7	70,0	52,2
		Alkalireserve	69,0	57,4	63,1
Mittelwerte		Milchsäure	18,4	51,6	33,1
		Alkalireserve	66,6	56,7	62,1
Milchsäure			% Zunahme zwischen Wert I u. II 180 %	% Abnahme zwischen Wert II u. III 36 %	

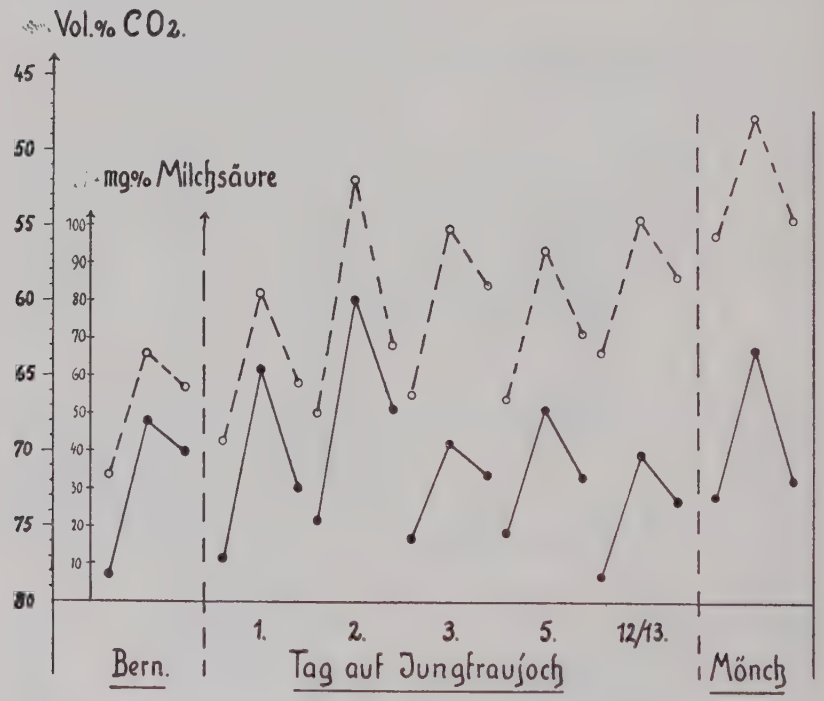

Fig. 4. Graphische Darstellung der Mittelwerte sämtlicher Standing-running-Versuche in Bern, an den verschiedenen Aufenthaltstagen auf Jungfraujoch und auf dem Mönch. Die drei Punkte entsprechen jeweils den Werten I, II und III (siehe Methodik).

● = Blutmilchsäurewerte
o = Alkalireservewerte

Im Verhältnis der Zeichnung entspricht 1 milli-Mol. Milchsäure = 22,4 cm³ CO_2

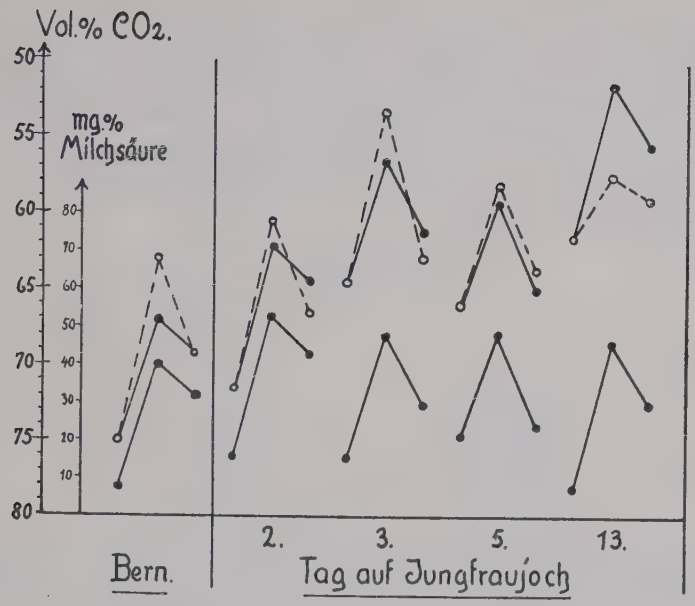

Fig. 5. Tabellarische Zusammenstellung der Standing-running-Versuche der Versuchsperson v. R. in Bern und an den verschiedenen Aufenthaltstagen auf Jungfraujoch. Die drei Punkte an den einzelnen Kurven entsprechen den Werten I, II und III.

● = Blutmilchsäurewerte
o = Alkalireservewerte

Die Milchsäurewerte sind in die Alkalireservewerte hinein parallel verschoben. Im Verhältnis der Zeichnung entspricht 1 milli-Mol. Milchsäure = 22,4 cm³ CO_2

f) Standing-running auf Jungfraujoch am 12. und 13. Aufenthaltstag.

Tabelle 9.

Datum 1939	Versuchs-Person		Wert I	Wert II	Wert III
25. 3.	v. R.	Milchsäure	7,7	46,1	30,0
		Alkalireserve	61,5	57,4	58,8
24. 3.	Bl.	Milchsäure	6,7	32,0	23,7
		Alkalireserve	65,8	52,0	58,0
Mittelwerte		Milchsäure	7,2	39,0	26,8
		Alkalireserve	63,6	54,7	58,4
Milchsäure			% Zunahme 441 % zwischen Wert I u. II	% Abnahme 32 % zwischen Wert II u. III	

g) Abweichende Versuche.

Der Vollständigkeit halber werden im folgenden Versuche, die von den übrigen stark abweichen, gesondert angeführt. Die männliche

Versuchsperson C. (geboren 1916) zeichnete sich durch besondere Fettleibigkeit aus (Gewicht 102 kg). Habitus pyknicus. Das Standing-running ging jeweilen über seine Kräfte und er brachte es nie auf die postulierten 60 Sekunden. Der Ruhewert in Bern am 17. März. 1939 ergab 9 mg % Milchsäure im Blut. Die Standing-running-Versuche an den verschiedenen Aufenthaltstagen ergaben folgende Resultate:

Tabelle 10. **Versuchsperson C.**

		Aufenthaltstag auf Jungfraujoch		
		1.	2.	5.
Datum: 1939		17. 3.	18. 3.	21. 3.
Wert I	Milchsäure	74,2	10,9	13,7
	Alkalireserve	63,5	68,1	69,0
Wert II	Milchsäure	152,5	96,1	70,0
	Alkalireserve	36,3	42,4	57,4
Wert III	Milchsäure	102,3	64,5	52,2
	Alkalireserve	42,7	58,5	63,1

Nach dem Wert II von 152 mg % Milchsäure vom 17. März 1939 wurde die Apparatur sofort mit der Lithiumlactat-Standard-Lösung geprüft. Die bekannte zu bestimmende Lösung enthielt 0,18 mg Milchsäure. Die Bestimmung ergab 0,189 mg Milchsäure.

Doppelter Standing-running-Versuch auf Jungfraujoch.

Am 24. März 1939 machte die Versuchsperson Bl. am 12. Aufenthaltstag auf Jungfraujoch zwei Standing-running hintereinander. Die Versuchsbedingungen waren folgende:

Zeit:

9.40 Uhr: im Anschluss an die Nachtruhe Blutentnahme im Bett (Ruhewert), Wert I;
anschliessend 60 Sekunden Standing-running.
9.45 » (drei Minuten nach Ende Uebung) Wert II;
10.00 » (18 Minuten nach Ende der Uebung) Wert III,
dann wieder eine Stunde absolute Ruhe im Bett:
11.00 » (entspricht wieder Ruhewert) Wert IV,
anschliessend wieder 60 Sekunden Standing-running:
11.05 » Wert V (entsprechend Wert II);
11.20 » Wert VI (entsprechend Wert III).

Die Versuchsperson war bis zum Abschluss des Doppelversuches nüchtern. Bl. fühlte sich während seinem ganzen Aufenthalt auf Jungfraujoch nie so schlecht wie nach diesem Versuch (Herzklopfen, Atemnot, blasses Aussehen, Uebelkeit und Schlaflosigkeit in der darauffolgenden Nacht).

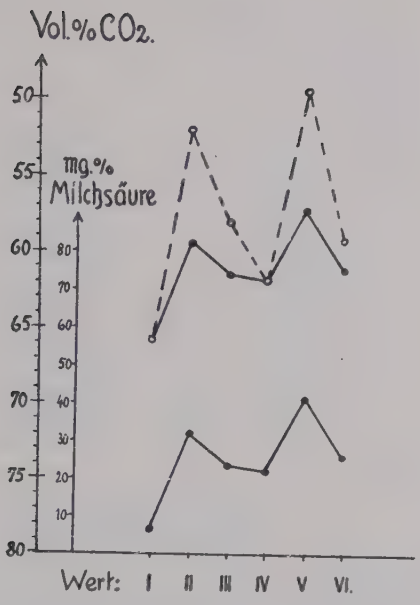

Fig. 6. Doppeltes Standing-running auf Jungfraujoch.
1. Standing-running-Werte I—III; 2. Standing-running-Werte IV—VI.

o = Alkalireservewerte
● = Milchsäurewerte

Im Verhältnis der Zeichnung entspricht 1 milli-Mol. Milchsäure 22,4 cm³ CO_2.
Die Milchsäurewerte sind in die Alkalireservewerte hinein parallel verschoben.

Tabelle 11. **Ergebnisse des Doppelversuches:**

	Wert I	II	III	IV	V	VI
Milchsäure . . .	6,7	32,0	23,7	22,1	41,8	25,8
Alkalireserve . .	65,8	52,0	58,0	61,9	49,3	59,2

Um auch den Einfluss grösserer Höhen auf den Blutmilchsäurespiegel zu untersuchen, wurde eine Gruppe von Versuchen auf dem Mönch (4105 m ü. M.) durchgeführt.

h) Standing-running-Versuche auf dem Mönch.

Am 30. März 1939, morgens um 6 Uhr, nahmen wir bei den drei Versuchspersonen die Ruhewerte auf Jungfraujoch. Um 7.30 Uhr marschierten wir ab und gelangten 10.15 Uhr auf den Gipfel des Mönch. Durch Neuschnee war der Aufstieg verhältnismässig mühsam. Auf dem Mönch blies ein starker Wind, der Himmel war bedeckt und die Temperatur betrug — 20° C. Wir

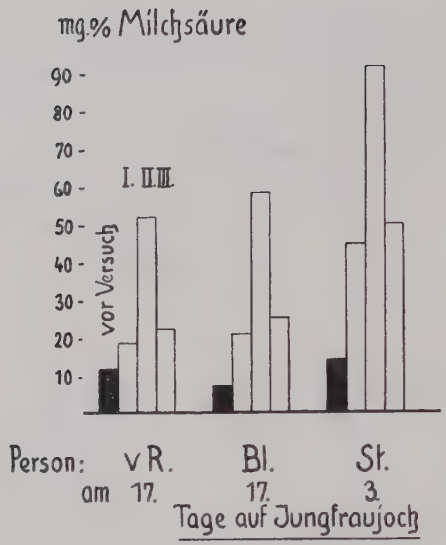

Fig. 7. Vergleich Standing-running-Versuche auf dem Mönch. Die einzelnen Säulen bedeuten Milchsäurewerte und zwar auf dem Jungfraujoch (schwarze Säule) und auf dem Mönch (weisse Säulen); Wert I, II und III.

errichteten uns eine Schneehütte, in welcher die Blutentnahmen erfolgten. Dieselbe war sehr erschwert, da das Blut in Spritzen und Nadeln gefror. Alle Utensilien mussten vor Gebrauch in warmem Wasser vorgewärmt werden. Das Standing-running wurde auf festgetrampeltem Schneeboden in Skischuhen und voller Bekleidung gelaufen. Das Tempo wurde wie immer mit dem Metronom kontrolliert. Nur eine der Versuchspersonen brachte es auf die postulierten 60 Sekunden. Die beiden anderen mussten das Rennen schon nach 50 (Bl.) und 55 (v. R.) Sekunden aufgeben. Nach dem Standing-running bekam man fast keine Luft mehr, aber schon nach zwei Minuten fühlte man sich wieder vollkommen erholt. Die schnelle Erholung fiel allen Versuchspersonen auf.

Schema der Blutentnahmen:

Wert Joch: 6.00 Uhr nüchtern im Bett.

Wert I: Auf dem Mönch vor dem Standing-running (Ruighaltung war wegen der Kälte unmöglich).

Wert II: Drei Minuten nach Ende des Standing-runnings.

Wert III: 18 Minuten nach Ende des Standing-runnings.

Ergebnisse:

Tabelle 12.

		Versuchsperson v. R.	Bl.	St.	
		Tage auf Jungfraujoch 17	17	3	Mittelwerte
Wert Joch	Milchsäure . . .	11,8	6,7	14,0	10,1
	Alkalireserve . . .	63,1	63,9	60,8	62,6
	Zeit	6.00	6.00	6.00	
Wert I	Milchsäure . . .	18,8	20,7	44,4	27,9
	Alkalireserve . . .	56,6	56,4	54,6	55,8
	Zeit	11.30	10.40	10.50	
Wert II	Milchsäure . . .	52,0	57,9	91,1	67,0
	Alkalireserve . . .	51,5	50,4	42,2	48,0
	Zeit	11.40	10.45	11.05	
Wert III	Milchsäure . . .	22,1	25,0	49,5	32,2
	Alkalireserve . . .	57,9	54,7	51,5	54,7
	Zeit	11.55	11.00	11.25	

i) Achtungsstellungs-Versuch auf Jungfraujoch (21. März 1939).

Im nachfolgenden beobachten wir den Blutmilchsäurespiegel einer Versuchsperson (Fe. 4. Tag auf Jungfraujoch), welche wir eine Viertelstunde lang eine korrekte Achtungsstellung mit Anspannung sämtlicher Muskeln machen liessen.

Tabelle 13. **Ergebnis:**

	Milchsäure	Alkalireservewerte
Wert I (Ruhewert im Bett)	30,0	60,7
Anschliessend eine Viertelstunde korrekte Achtungstellung.		
Wert II (1 Minute nach Ende der Uebung) . . .	33,4	54,7
Wert III (16 Minuten nach Ende der Uebung) . . .	22,1	58,0

4. Tourenversuche.

Bei fünf Versuchspersonen wurde am Morgen des Abreisetages in Bern die Blutmilchsäure bestimmt (Wert Bern). Nach Einnahme des Einheitsfrühstücks Reise auf das Jungfraujoch. Dann beobachteten wir den Blutmilchsäurespiegel während mehrerer Tage, wobei immer Ruhe und Tourentage miteinander abwechselten. Als Einheitstour betrachteten wir den Weg Jungfraujoch—Konkordiahütte —Jungfraujoch (ca. drei Stunden Marsch auf Skiern). Die Frühwerte an den einzelnen Tagen sind als Ruhe- und Nüchternwerte im Bett aufzufassen. Die Werte nach Rückkehr von den Touren wurden sofort nach Eintreffen im Institut gewonnen. Die Ruhetage wurden entweder im Bett oder in einem Liegestuhl zugebracht. Alle Versuchspersonen wurden gleich und besonders kohlehydratarm ernährt (siehe Methodik). Die Ergebnisse sind aus den Tabellen der einzelnen Versuchspersonen zu ersehen.

Tabelle 14. **Ergebnisse der Tourenversuche:**

Tag auf Jungfraujoch	Datum 1939	Zeit	Wert	Milchsäure	Alkalireservewerte
—	18. 3.	5.30 Uhr	Bern	10,9	64,6
1.	18. 3.	12.30 »	Jungfraujoch	25,5	58,1
		18.10 »	Nach Rückkehr von Standard-Tour	45,0	54,9
2.	19. 3.	9.00 »	Nach dem Erwachen im Bett . .	16,2	53,1
		12.40 »	Nach Ruhe	10,6	52,3
		16.55 »	Nach Ruhe	12,8	50,4
3.	20. 3.	—	Keine Werte	—	—
4.	21. 3.	8.15 »	Nach dem Erwachen im Bett . .	30,0	60,7

Blutmilchsäure- und Alkalireservewerte an vier Aufenthaltstagen auf Jungfraujoch.

Versuchsperson: KF., Sportsmann, fühlte sich während ganzer Zeit auf Jungfraujoch wohl.

Tabelle 15.

Tag auf Jungfraujoch	Datum 1939	Zeit	Wert	Milchsäure	Alkalireservewerte
—	27. 3.	5.30 Uhr	Bern	4,7	57,6
1.	27. 3.	12.30 »	Jungfraujoch	12,8	60,9
		18.30 »	Nach Rückkehr von Standard-Tour *)	43,2	47,2
2.	28. 3.	9.00 »	Nach dem Erwachen im Bett . .	20,7	59,5
		12.00 »	Nach Ruhe	22,1	60,3
		18.30 »	Nach Rückkehr von Standard-Tour	27,0	44,7
3.	29. 3.	8.30 »	Nach dem Erwachen im Bett .	54,6	56,0
		12.00 »	Nach Ruhe	34,3	54,1
4.	30. 3.	6.00 »	Nach dem Erwachen im Bett . .	14,0	60,8

*) Versuchsperson war nach der Rückkehr vollkommen erschöpft und fror. Der Aufstieg vom Koncordiaplatz zum Jungfraujoch soll ihm sehr viel Mühe gemacht haben.

Blutmilchsäure- und Alkalireservewerte an vier Aufenthaltstagen auf Jungfraujoch.

Versuchsperson: St., geübter Bergsteiger.

Tabelle 16.

Tag auf Jungfraujoch	Datum 1939	Zeit	Wert	Milchsäure	Alkalireservewerte
—	—	—	Bern	—	—
1.	26. 3.	12.45 Uhr	Jungfraujoch	16,5	65,0
		15.30 »	Nach Ruhe	17,1	71,7
		17.00 »	Nach Ruhe	16,0	63,1
		18.35 »	Nach einer Stunde Skilaufen *) .	39,0	51,7
2.	27. 3.	9.00 »	Nach Erwachen im Bett . . .	17,3	50,4
		12.30 »	Nach Ruhe	16,2	53,6
		15.30 »	Nach Ruhe	14,0	48,0
		17.00 »	Nach Ruhe	32,0	53,4

*) Versuchsperson kam sehr schnell ausser Atem und musste öfters anhalten.

Tag auf Jungfraujoch	Datum 1939	Zeit	Wert	Milchsäure	Alkalireservewerte
3.	28. 3.	9.00 Uhr	Nach Erwachen im Bett . . .	23,8	65,3
		12.00 »	Nach Ruhe	27,7	61,9
		18.20 »	Nach Rückkehr von Standard-Tour **)	43,8	55,8
4.	29. 3.	9.00 »	Nach Erwachen im Bett . . .	32,0	67,1
		12.00 »	Nach Ruhe	20,3	53,8

**) Versuchsperson fühlte sich wohl, trotzdem das Tempo der Tour sehr rasch war.

Blutmilchsäure- und Alkalireservewerte an vier Aufenthaltstagen auf Jungfraujoch.

Versuchsperson: WS., geb. 1913, Gewicht 68 kg. Diabetiker, nimmt dreimal im Tag 15 IE. Insulin vor den Mahlzeiten.

Der Zuckerspiegel im Blut soll 250 mg-% betragen.

Tabelle 17.

Tag auf Jungfraujoch	Datum 1939	Zeit	Wert	Milchsäure	Alkalireservewerte
—	27. 3.	5.30 Uhr	Bern	11,0	62,5
1.	27. 3.	12.30 »	Jungfraujoch	16,5	67,9
		18.30 »	Nach Rückkehr von Standard-Tour *)	96,7	59,8
2.	28. 3.	9.00 »	Nach Erwachen im Bett . . .	20,5	61,1
		12.00 »	Nach Ruhe	20,7	62,4
		17.00 »	Nach Ruhe	12,6	59,6
3.	29. 3.	9.00 »	Nach Erwachen im Bett . . .	32,1	47,2

*) Versuchsperson war nach der Rückkehr vollkommen erschöpft. Sie klagte zugleich über Kopfschmerzen und Brechreiz.

Blutmilchsäure- und Alkalireservewerte an drei Aufenthaltstagen auf Jungfraujoch.

Versuchsperson: Frau B. St.

Tabelle 18.

Tag auf Jungfraujoch	Datum 1939	Zeit	Wert	Milchsäure	Alkalireservewerte
—	27. 3.	5.30 Uhr	Bern	7,2	64,3
1.	27. 3.	12.30 »	Jungfraujoch	20,0	55,8
		17.00 »	Nach Ruhe *)	39,8	62,7
		19.00 »	Nach Ruhe	73,6	68,3
2.	28. 3.	9.00 »	Nach Erwachen im Bett . . .	39,9	70,5
		12.00 »	Nach Ruhe	26,3	59,6
		18.30 »	Nach Rückkehr von Standard-Tour	39,8	49,1
3.	29. 3.	9.00 »	Nach Erwachen im Bett . . .	25,0	47,9
		12.00 »	Nach Ruhe	31,5	60,3

*) Versuchsperson klagte über Kopfschmerzen.

Blutmilchsäure- und Alkalireservewerte an drei Aufenthaltstagen auf Jungfraujoch.

Versuchsperson: BB.

5. Der Bikarbonateffekt.

Für die folgende Versuchsserie stellen wir uns die Frage:

Wie verändern sich Blutmilchsäure und Alkalireservewerte nach der Einnahme von 8 g Natriumbikarbonat in verschiedenen Höhen? Zu diesem Zweck bestimmten wir die Blutmilchsäurewerte vor und nach der Einnahme von 8 g Natriumbikarbonat in einem Glas Wasser, einerseits in Bern, andererseits auf Jungfraujoch. Die Ernährung der Versuchspersonen erfolgte einheitlich und besonders kohlehydratarm (siehe Methodik).

Versuchsschema:

Wert I	Bern:	Blutentnahme vor dem Mittagessen, anschliessend Einheitsmittagessen und Einnahme von Bikarbonat.
Wert II	Bern:	2 Stunden nach der Bikarbonateinnahme.
Wert III	Jungfraujoch:	Nach Ankunft auf Jungfraujoch und ¼ Stunde absoluter Ruhe Blutentnahme, anschliessend Essen und Bikarbonateinnahme.
Wert IV	Jungfraujoch:	2 Stunden nach der Bikarbonateinnahme.

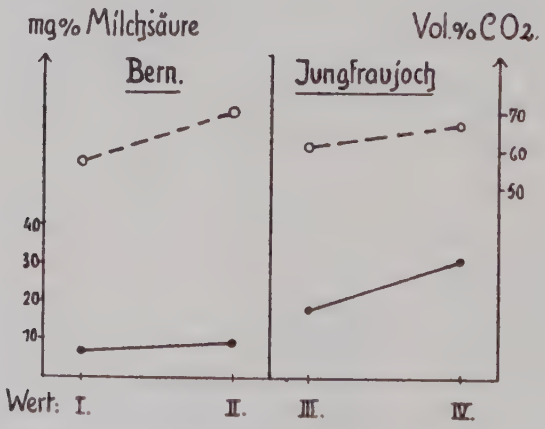

Fig. 8. Vergleich des Verhaltens der Milchsäure und Alkalireservewerte nach Bicarbonatgabe in Bern und auf Jungfraujoch (eingezeichnet sind die Mittelwerte sämtlicher Versuche).

● = Blutmilchsäurewerte
o = Alkalireservewerte

Versuchsergebnis:

Tabelle 19.

		Versuchsperson				
		Be.	Sch.	Fa.	Bu.	Mittel-Werte
Wert I	Milchsäure	8,6	6,7	7,2	5,0	6,8
	Alkalireserve	58,2	58,9	50,6	60,0	56,9
Wert II	Milchsäure	9,0	13,1	8,6	8,1	9,7
	Alkalireserve	71,8	70,0	62,7	73,8	69,5
Wert III	Milchsäure	12,8	18,0	21,6	19,3	17,9
	Alkalireserve	63,4	60,2	67,6	53,3	61,1
Wert IV	Milchsäure	22,1	31,2	37,8	32,8	30,9
	Alkalireserve	70,6	65,9	70,3	61,6	67,1

Vergleich der Zunahme der Blutmilchsäurewerte nach Einnahme von Bikarbonat in Bern und auf Jungfraujoch. Angegeben ist die Differenz der Milchsäurewerte vor und nach der Einnahme von Bikarbonat, ausgedrückt in Milligrammprozenten:

Tabelle 20.

Versuchsperson	Bern	Jungfraujoch
Be.	0,4	9,7
Sch.	6,4	13,2
Fa.	1,4	16,2
Bu.	3,1	13,5

Besprechung der Versuchsergebnisse

Die Blutmilchsäure bei Ruhe

entsteht nach den Auffassungen von Warburg [6], Cook und Hurst [7], Bock, Dill und Edwards [8] und Hartmann und v. Muralt [9] zum grössten Teil aus der aeroben Glykolyse der Erythro- und Leukozyten. Sie ist als ein im Blut entstehendes Glykolyseendprodukt aufzufassen. Die aerobe Glykolyse ist vom Bikarbonatspiegel abhängig. Bikarbonatfütterung führt zu einer Erhöhung der Blutmilchsäurewerte und zwar durch die Alkalose, die eine Erhöhung der aeroben Glykolyse bedingt (Hartmann und v. Muralt [9]). Aber auch der ruhende Muskel gibt eine geringe Milchsäuremenge an das Blut ab (Kramer, Quensel, Schäfer [10]).

Die Wegschaffung der Blutmilchsäure ist abhängig von der Verbrennung, der Resynthese zu Glykogen und vom Grad der Ausscheidung. Für letztere kommen in Frage der Urin (Jervell [11]) und die Schweissdrüsen (Snapper und Grünbaum [12]). Oxydativ wird die Milchsäure in der Lunge (Rosenbaum [13]), im Herzen (Bogue, Chang und Gregory [14]), in der Leber (Riesser [15]) und im Zentralnervensystem (Milla und Capraro [16]) beseitigt.

Pathologische Zustände, die den normalen Sauerstoffgehalt des Blutes verändern, können die Ruheblutmilchsäurewerte im Tiefland beeinflussen. Bei Lungenkrankheiten, die mit einer bedeutenden Einschränkung der Gesamtatemfläche einhergehen, fand Jervell [11] deutlich erhöhte Blutmilchsäurewerte. Meakins [17], Long und Harris [18] beobachteten bei ruhenden Personen mit Zirkulationsinsuffizienz eine dem Grade der Insuffizienz entsprechende Blutmilchsäurezunahme (bis zu 110 mg %).

Dagegen konnte Jervell [11] selbst bei hochgradigen Anaemien keine Zunahme der Blutmilchsäurewerte feststellen, aber auch die Vermehrung des Sauerstoff-Angebotes hat keinen Einfluss auf den Milchsäurespiegel des Blutes (Long [19]). Bei einer gemischten

Sauerstoff- und Kohlensäure-Atmosphäre dagegen beobachtete er eine Abnahme der Blutmilchsäurewerte, offenbar als Folge der leichten CO_2-Azidose. Rosenbaum [13] machte die Feststellung, dass das venöse Blut mehr Milchsäure enthält als das arterielle. Bei Sauerstoffmangel nahm die Differenz noch zu. Die Zunahme der Glykolyse, die Umschaltung von einem oxydativen auf einen partiell glykolytischen Stoffwechsel, die Verminderung der Resynthese in Glykogen und die Abnahme der Milchsäureausscheidung können als Ursachen der Milchsäure-Anhäufung im Blut bei den erwähnten pathologischen Bedingungen angeführt werden.

Die Literaturangaben über die Blutmilchsäurebestimmungen im Höhenklima bei Ruhe weichen stark voneinander ab. Nach Laquer [20] sollen die Ruheblutmilchsäurewerte in grossen Höhen nur ganz unbedeutend von den Tieflandwerten abweichen. Hartmann und v. Muralt [9] fanden am ersten Aufenthaltstag auf Jungfraujoch eine Abnahme von 30 %, in den darauffolgenden neun Tagen eine Zunahme von 70 % der Blutmilchsäure gegenüber den Tieflandwerten. Vladimirow [21] konnte erst von 4200 m an ein Ansteigen des Ruheblutmilchsäurewertes feststellen. Déduline [22] beschreibt einen Hochflug in 5800 m, wobei er bei einer Versuchsperson in absoluter Ruhe eine Blutmilchsäurezunahme um 50 % gegenüber dem Tieflandwert fand.

Die vorliegenden Untersuchungen ergaben folgende *Ergebnisse:* Im Tiefland (Bern 545 m) wurde ein Ruhemittelwert von 10,7 mg % Blutmilchsäure festgestellt. Auf Jungfraujoch stieg im Ruhezustand der Blutmilchsäurespiegel schon am ersten Aufenthaltstag stark an und zwar im Mittel von acht Versuchspersonen um 129 % auf 24,5 mg % (Tabelle Nr. 2). Bei einer Versuchsperson, die den ganzen ersten Aufenthaltstag auf Jungfraujoch im Bett bei absoluter Ruhe zubrachte, stieg der Blutmilchsäurewert bis zum Abend weiter an (siehe Tabelle 18). Nach der Ankunft bleibt der Ruhe-Blutmilchsäurespiegel etwa fünf Tage stark erhöht (im Mittel schwankend zwischen 23,2 und 25,3 mg %). Dagegen kommt es nach dem fünften Tag wieder zu einem Abfall, so dass die Werte vom zwölften Tag an wieder den Tieflandwerten entsprechen (Figur 3). Die Zunahme der Ruhe-Blutmilchsäurewerte in der Höhe kann auf zweierlei Arten erklärt werden:

Erstens durch eine Umschaltung des oxydativen Stoffwechsels auf partielle Glykolyse, als Folge der Verminderung der Sauerstoffsättigung des Blutes. Pro drei Moleküle für die Atmung nicht mehr verfügbarem Sauerstoff können sich 4—5 Moleküle Milchsäure ansammeln (Meyerhof [23]).

Zweitens durch ein Anregung der aeroben Glykolyse, bedingt durch den Einfluss der in der Höhe auftretenden Alkalose (Hartmann, v. Muralt [9]). Aus diesem Grunde wurde die Blutmilchsäure von den gleichen Autoren als ein dritter Pufferungsmechanismus bezeichnet. Die Milchsäure nimmt den Platz, der in der Höhe dem Blut verlorengegangenen Kohlensäure ein und wirkt so der Alkalose entgegen.

Blutmilchsäure und Arbeit.

Bei körperlicher Arbeit spielt für die Höhe des Milchsäurespiegels im Blut nicht die aerobe Glykolyse der Blutkörperchen, sondern die bei der Tätigkeit des Muskels entstehende Milchsäure die Hauptrolle.

Der Grad der Zunahme des Milchsäurespiegels nach einer Arbeit ist dabei abhängig:

1. Vom Grad und der Dauer der Arbeit. Eine länger andauernde mittelmässige Arbeit (steady state ohne Sauerstoffmangel), z. B. Radfahren, führt nur zu einer geringen Milchsäureanhäufung im Blut (Laquer [20]). Eine Parforce-Leistung dagegen, z. B. standing-running von kurzer Dauer und fast bis zur Erschöpfung getrieben, kann zu sehr hohen Milchsäurewerten führen.
2. Vom Säurenbasengleichgewicht des Blutes, wobei anzunehmen ist, dass bei einer zunehmenden Alkalose die Milchsäure als ausgleichender Faktor auftritt und durch Anregung der aeroben Glykolyse bei der Konstanterhaltung des Blut-*Ph* mithilft.
3. Von der Sauerstoffsättigung des Blutes.
4. Durch längeres Training wird erreicht, dass der Milchsäuregehalt des Blutes bei einer gleich gross bleibenden Arbeitsleistung weniger stark ansteigt als vor dem Training (Palladin [24]).

Baisset, Bugnard und Rogeon [25] beschreiben, dass eine i. m.-Injektion von Adrenalin bei Hunden zu einer erheblichen Steigerung der Blutmilchsäure führt. Die Veränderung geht der Hyperglykämie parallel. Es besteht die Möglichkeit, sowohl bei Ruhe wie auch bei einer kurzen, sehr grossen Anstrengung, dass die in der Höhe regelmässig beobachtete Zunahme des Sympathicus-Tonus mit vermehrter Adrenalinausschüttung einhergeht und so eine Blutmilchsäure-Zunahme auf Grund von neuro-vegetativen Faktoren eintritt.

Clausen [26] beschreibt nach einer Leistung von 3500 mkg in drei Minuten im Tiefland einen Blutmilchsäurewert von 75,0 mg %. Barr und Humwich [27] fanden nach erschöpfender Arbeit Milchsäurewerte bis zu 118 mg %. Laquer [20] beobachtete nach einer

Stunde Radfahren (19 km) in verschiedenen Höhen folgende Blutmilchsäurewerte:

Höhe	Milchsäure direkt nach Uebung	Milchsäure 30 Minuten nach Uebung
100 m	12,6	6,3
1560 m	27,0	20,0
2400 m	28,8	3,4

Er zog aus diesen Versuchen den Schluss, dass eine gleiche körperliche Anstrengung in der Höhe zu einer etwas stärkeren Ansammlung von Milchsäure im Blut führe. Beachtenswert ist der 30-Minuten-Wert in 2400 m Höhe, der angibt, dass in der Höhe ein Milchsäureüberschuss rascher und weitgehender fortgeschafft wird als im Tiefland.

Hartmann und v. Muralt [9] erkannten, dass drei Minuten nach einer Arbeit die Milchsäureausschüttung in das Blut in der Höhe grösser ist als im Tiefland, dass aber andererseits der 15-Minutenwert nach einer Arbeit niedriger ist, weil die Wegschaffung der Milchsäure aus dem Blut in der Erholungsphase in der Höhe schneller abläuft als im Tiefland. Die zu leistende Arbeit in den betreffenden Versuchen bestand im zweimaligen Hinauf- und Herunterrennen über eine Treppe von 16 m Höhe in etwa einer Minute. Auf dem Jungfraujoch wurden Blutmilchsäurewerte bis zu 59,2 mg % gefunden. Nach der in der vorliegenden Arbeit beschriebenen kurzen, fast bis zur Erschöpfung getriebenen Anstrengung wurden ohne Ausnahme höhere Blutmilchsäurewerte gefunden.

Das Standard-Standing-running erlaubt uns einen zweckmässigen Vergleich der Werte in verschiedenen Höhen. Im Mittelwert sämtlicher Standing-running-Versuche wurden folgende Blutmilchsäurewerte gefunden (Figur 4, Tabellen 4—9).

	Höhenlage	Wert I Ruhewert	Wert II 3 Min. nach Uebung	Wert III 18. Min. n. Uebung
	Bern	7,3	48,1	40,0
1. Tag	Jungfraujoch	11,2	61,4	30,5
2. »	»	21,2	79,8	51,4
5. »	»	18,4	51,6	33,1
13. »	»	7,2	39,0	26,8
	Mönch *)	44,4	91,1	49,5

*) Versuchsperson St. vorher drei Tage auf Jungfraujoch.

Die Ruhewerte verhalten sich auch in diesen Versuchen wie es oben besprochen wurde. Die 3-Minuten-Werte nach einer gleichen Arbeit liegen in der Höhe wesentlich höher als im Tiefland (Maximum am 2. Aufenthaltstag auf Jungfraujoch) und passen sich mit zunehmender Akklimatisation wieder den Tieflandwerten an.

Die 18-Minuten-Werte nach einer Arbeit liegen in der Höhe wesentlich tiefer als im Tiefland. Daraus folgert, dass die Abnahme der Blutmilchsäure in der Erholungsphase in der Höhe wesentlich rascher und in gleichen Zeiten weitgehender erfolgt als im Tiefland (Figur 4). Die Versuche auf dem Mönch lassen diese Beobachtungen noch deutlicher hervortreten (Figur 7).

Die Versuchsperson St., welche vorher nur drei Tage auf Jungfraujoch weilte, hatte auf dem Mönch einen Milchsäureanstieg bis zu 91,1 mg % (3-Minuten-Wert), der in 18 Minuten auf 49,5 mg % abfiel. Die beiden anderen Versuchspersonen (v. R. und Bl.), die sich vorher schon 17 Tage auf Jungfraujoch aufhielten, kamen im 3-Minuten-Wert nur auf 52,0 bzw. 57,9 mg % Milchsäure und ihre 18-Minuten-Werte fielen bis auf 22,1 bzw. 25,0 mg % ab.

Die Ergebnisse der Arbeitsversuche in den verschiedenen Höhen führen zu einer Bestätigung und Erweiterung der Befunde von Hartmann und v. Muralt [9].

Für die Erklärung der gesteigerten Blutmilchsäurebildung nach einer gleichen Arbeit in der Höhe lassen sich folgende Faktoren anführen:

1. Die verminderte Sauerstoff-Sättigung im Blut führt zu einer vermehrten Milchsäurebildung.
2. Die Höhenalkalose vergrössert auch die Ausschläge der Arbeitswerte (Pufferungsmilchsäure + Arbeitsmilchsäure).
3. Der Sauerstoffmangel während der Arbeit hemmt die Resynthese wegen stärkerer Beanspruchung des Sauerstoffs für die direkten Verbrennungen und Zurücktreten der gekoppelten oxydativen Reaktionen. Durch diesen Mechanismus wird von der vermehrt anfallenden Milchsäure im gleichen Zeitabschnitt ein geringerer Anteil durch Resynthese zum Verschwinden gebracht.

Die in allen Arbeitsversuchen festgestellte Tatsache, dass der Milchsäureüberschuss nach einer Arbeit in der Höhe rascher und in gleichen Zeiten weitgehender fortgeschafft wird als im Tiefland, wird von Hartmann und von Muralt [9] durch eine beschleunigte Milchsäuresynthese und gleichzeitige Oxydation erklärt. Ausserdem ist die starke Anregung des Kreislaufs in der Höhe (das Minutenvolumen ist auf Jungfraujoch um etwa 60 % erhöht) der raschen Beseitigung der angefallenen Milchsäure an den Orten des Aufbaues oder der Oxydation (Leber, Herz, Lunge, Z. N. S.) sehr förderlich. Zu diesen Faktoren kann sich eine Vergrösserung der Milchsäureausscheidung durch Urin, Schweiss und möglicherweise durch oxydativen Abbau in der, in der Höhe stärker durchbluteten, Lunge gesellen.

Neben der Milchsäure entstehen während der Arbeitsleistung sowohl im Tiefland als auch in der Höhe weitere unbekannte Säureäquivalente. Ihre Existenz lässt sich aus dem Vergleich der Alkalireserve mit den Milchsäurewerten nachweisen.

Sie verschwanden bei der Versuchsperson v. R. in 15 Minuten vollkommen (Figur 5), bei der Versuchsperson Bl. dagegen erst nach einer Stunde (Figur 6).

Der doppelte Standing-running-Versuch lässt erkennen, das bei einer zweimal hintereinander ausgeführten und gleich anstrengenden Arbeit der Blutmilchsäurewert bei der Wiederholung der Anstrengung stärker ansteigt (41,8 gegenüber 32,0 mg %) und dass in der Erholungsphase der Milchsäureüberschuss rascher und weitgehender fortgeschafft wird als nach der ersten Uebung.

Ein erhöhter Milchsäurespiegel scheint unter sonst gleichen Bedingungen für die beschleunigte Beseitigung der Milchsäure sehr günstig zu sein.

Tourenversuche.

Die direkt nach der Standard-Tour untersuchten Blutentnahmen ergaben durchwegs deutlich erhöhte Milchsäurewerte (auf etwa 40 mg %). Bei längerem Höhenaufenthalt liess sich in dieser Versuchsgruppe kein gesetzmässiges Verhalten, welches in Beziehung zur Akklimatisation stehen könnte, nachweisen. Die Ruhewerte der betreffenden Versuchspersonen bestätigen das schon erwähnte Verhalten der Ruhe-Blutmilchsäurewerte in der Höhe.

Der Bikarbonateffekt.

Margaria und Faraglia [29] sowie Adlersberg und Porges [30] zeigten in Versuchen, dass die Höhenfestigkeit durch Ammoniumchlorid oder Ammonphosphatgaben erhöht werden kann. Dagegen verursacht Bikarbonatgabe eine Verschlechterung des Zustandes und eine Zunahme der Erscheinungen der Bergkrankheit (v. Muralt [31]). Sowohl Bikarbonat als auch der plötzliche Uebergang in die Höhe (Hyperventilation) erzeugen eine Alkalose.

Die entsprechenden Versuche der vorliegenden Arbeit führten nach der Einnahme von 8 g Natriumcarbonat in Bern zu einer Blutmilchsäurezunahme von durchschnittlich 42,6 % (von 6,8 auf 9,7 mg %), auf dem Jungfraujoch zu einer Zunahme von 72,6 % (von 17,9 auf 30,9 mg %).

Die entsprechende Zunahme der Alkalireservewerte betrug im Mittel in Bern 22,1 % (von 56,9 auf 69,5 Vol % CO_2) und auf dem Jungfraujoch 9,5 % (von 61,1 auf 67,1 Vol % CO_2).

Nach der Bikarbonatfütterung ist die Blutmilchsäurezunahme auf dem Jungfraujoch, als Folge der Höhe und der auftretenden Alkalose, wesentlich stärker als in Bern. Durch den in der Höhe auftretenden Kohlensäureverlust des Blutes wird das Gleichgewicht $\frac{\text{Kohlensäure}}{\text{Bikarbonat}}$ gestört. Wird nun noch zusätzlich Bikarbonat verfüttert, so käme es zu einer ausgesprochenen Alkalose, wenn die Niere nicht durch vermehrte Bikarbonatausscheidung und die Milchsäure durch vermehrte Pufferbeanspruchung dieser Gefahr kompensatorisch entgegenwirken würde. Die verminderte Zunahme der Alkalireserve als Folge der Bikarbonatfütterung in der Höhe wird als direktes Anzeichen für die Wirksamkeit dieser Kompensationsvorgänge angesehen. Die Bedeutung dieser kompensatorischen Vorgänge wird in der Konstanterhaltung des inneren Milieu des Blutes, in bezug auf das Säurebasengleichgewicht gesehen.

Zusammenfassung

1. Es wurde das Verhalten des Blutmilchsäurespiegels im Ruhezustand nach einer standardisierten Arbeit und nach Bikarbonatgabe in verschiedenen Höhen (Bern 545 m, Jungfraujoch 3457 m, Mönch 4105 m) in 179 Bestimmungen untersucht.

   Parallel wurde in allen Versuchen die Alkalireserve bestimmt.

2. Der Wert der Ruheblutmilchsäure ist im Tiefland konstant (im Mittel 10,7 mg %). Am ersten Aufenthaltstag auf Jungfraujoch steigt der Ruheblutmilchsäurespiegel im Mittel um 129 % auf 24,5 mg % an und bleibt die ersten fünf Tage deutlich erhöht (schwankend zwischen 23,2 und 25,3 mg %). Nach dem fünften Tag kommt es zu einem Abfall, so dass die Werte vom zwölften Tag an wieder den Tieflandwerten entsprechen.

3. Als Test für die Arbeitsversuche dient eine kurze, standardisierte Anstrengung, die fast zur Erschöpfung führt (standing-running). Der Blutmilchsäurespiegel wurde vor, drei Minuten nach und 18 Minuten nach der Anstrengung bestimmt. Nach der Arbeit kam es immer zu einem Anstieg der Milchsäurewerte. Mit zunehmender Höhenlage nehmen die drei Minuten nach der Arbeit bestimmten Werte zu. Die Beseitigung der im Blut angehäuften Milchsäure nach der Arbeit dagegen ist in der Höhe beschleunigt (18 Minuten-Wert tiefer). Eine schnellere Erholung kann auch im subjektiven Verhalten der Versuchspersonen beobachtet werden. Die Ergebnisse der Arbeitsversuche führen zu einer Bestätigung und Erweiterung der Befunde von Hartmann und v. Muralt [9].

4. Anschliessend an ein Standing-running auf Jungfraujoch wird in einem besonderen Fall ein Blutmilchsäurewert von 152,5 mg % gefunden.

5. Neben der Milchsäure entstehen während einer Arbeit sowohl im Tiefland als auch in der Höhe weitere unbekannte Säureäquivalente.

6. Bikarbonateinnahme führt in der Höhe zu einer wesentlich stärkeren Zunahme der Blutmilchsäure als im Tiefland (Bestätigung der Versuche von Hartmann und v. Muralt [9]).

7. Die Deutung des Verhaltens der Milchsäure und Alkalireservewerte bestätigt die schon früher ausgesprochene Vermutung, dass die Milchsäure in der Höhe die Funktion eines dritten Blutpuffers besitzt.

Literaturverzeichnis

[30] *Adlersberg D., Porges O.*: Beobachtungen über Hypoxämie am Hochschneeberg und Jungfraujoch und über ihre Beeinflussbarkeit durch die Ammonphosphatacidose. Ztschr. f. d. ges. exp. Med. *45*, 167 (1925).

[25] *Baisset A., Bugnard L., Rogeon J.*: Recherches sur la teneur du sang en acide lactique. Bull. Soc. chim. biol. Paris. *20*, 51 (1938).

[27] *Barr D., Himwich H.*: Studies in the Physiology of muscular exercise. Journ. of biolog. chem. *55*, 525 (1923).

[8] *Bock A.V., Dill D.B., Edwards H.T.*: Lactic acid in the blood of resting man. J. clin. Invest. *11*, 775 (1932).

[14] *Bogue I.Y., Chang J., Gregory R.A.*: The metabolisme of the isolated mammalian heart under partial anoxia. Quart. J. exp. Physiol. *27*, 319 (1938).

[26] *Clausén.* Journ. of biolog. chem. 52, 263 (1922).

[4] *Campbell W.R., Maltby E.J.*: On the significance of respiratory quotients after administration of certain carbohydrates. J. clin. Invest. *6*, 303 (1928).

[7] *Cook L.C., Hurst R.H.*: Blood lactic acid in man during rest. J. of Physiol. *79*, 443 (1933).

[22] *Déduline I.M.*: Einfluss eines Hochfluges (5800 m) auf die Blutmilchsäure bei Mensch und Kaninchen. Eksper. Med. *2*, 49 (1937); Ronas Ber. *101*, 423 (1937).

[2] *Edwards H.T.*: A simplified estimation of Lactate in normal human blood. Journ. of biolog. chem. *125*, 571 (1938).

[3] *Friedemann T.E., Cotonio M., Shaffer P.A.*: The determination of Lactic acid. Journ. of biolog. chem. *73*, 335 (1917).

[18] *Harris J., Wyn J., Aldred C.N.*: Blood ph and lactic acid in different types of heart disease. Quart. J. M. N. *4*, 407 (1935).

[9] *Hartmann H., von Muralt A.*: Blutmilchsäure und Höhenklimawirkung. Biochem. Ztschr. *271*, 76 (1934).

[11] *Jervell O.*: Investigation of the concentration of lactic acid in blood and urine under physiologic and pathologic conditions. Acta med. Scand. *24*, 1 (1928).

[5] *Koehler, Behnemann, Benell, Loevenhart*: The cause of death from anoxemia. Am. J. Physiol. *74*, 590 (1925).

[10] *Kramer K., Quensel W., Schäfer K.*: Untersuchungen über den Muskelstoffwechsel des Warmblüters. Pflügers Arch. *241*, 717 (1939).

[20] *Laquer F.*: Ueber den Milchsäuregehalt des Blutes im Höhenklima. Ztschr. f. Biol. *70*, 99 (1920); Pflügers Arch. *203*, 35 (1924).

[19] *Long C.N.H.*: The lactic acid in the blood of a resting man. J. of Physiol. *58*, 455 (1924).

[29] *Margaria R., Faraglia L.*: Modificazioni della resistenza alla anossia provocate dalla variazione dell'equilibrio acido-base del sangue. Boll. Soc. ital. Biol. sper. *15*, 1096 (1940).

[17] *Meakins J., Long C. N. H.*: Oxygen consumption, oxygen debt and lactic acid in circulatory failure. J. clin. Invest. *4*, 273 (1927).

[23] *Meyerhof O.*: Die chemischen Vorgänge bei der Muskelkontraktion. Berlin, 1930.

[16] *Milla E., Capraro V.*: L'utilizzazione dell'acido lattico in diversi distretti dell'organismo. Arch. di Fisiol. *40*, 205 (1940).

[31] *Muralt A. von*: Zur Frage der Blutregulation im Höhenklima. Schweiz. Med. Wschr. *21*, 461 (1935).

[24] *Palladin A., Koldajew B.*: Einfluss des vorangehenden Trainings auf den Milchsäuregehalt im Blut nach anstrengender Arbeit. Ukrain. biochem. Z. *7*, 31 (1934); Ronas Ber. *91*, 573 (1936).

[15] *Riesser Otto*: Der Kohlehydratumsatz des Muskels in neuerer Betrachtung. Klin. Wschr. *2*, 1257 (1936); Ronas Ber. *96*, 377 (1937).

[13] *Rosenbaum*: L'influence du poumon sur la teneur en acide lactique du sang. Arch. internat. Physiol. *45*, 75 (1937).

[1] *Rütte Ulrich, von*: Die Alkalireserve des Blutes bei Ruhe und Arbeit in verschiedenen Höhen. (Noch nicht veröffentlicht.)

[12] *Snapper J.* und *Grünbaum A.*: Ueber den Milchsäurestoffwechsel beim Sport. Dtsch. med. Wschr. *2*, 1494 (1928).

[21] *Vladimirov G. E., Déduline I. M., Rayko Z. A.*: Einfluss der Bergbesteigung auf den Milchsäuregehalt des Blutes. Eksper. Med. *2*, 35 (1937); Ronas Ber. *101*, 423 (1937).

[6] *Warburg O.*: Ueber die Klassifizierung tierischer Gewebe nach ihrem Stoffwechsel. Biochem. Ztschr. *184*, 484 (1927).

Meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. *Alexander von Muralt*, sage ich den herzlichsten Dank für die Anregung zu dieser Arbeit, sowie für sein lebhaftes Interesse an ihrer Druckführung und Ausarbeitung. Die Tätigkeit unter seiner weitblickenden Aegide wird mir immer als ein Glanzpunkt meiner Studienzeit in besonders lieber Erinnerung bleiben.